نشریه آب و خاک
جلد ۲۴، شماره ۵، آذر - دی ۱۳۸۹، ص. ۸۷۳-۸۶۴

Journal of Water and Soil
Vol. 24, No. 5, Nov-Des 2010, p. 864-873

طراحی مدول دو تیغه‌ای بر اساس مفهوم حساسیت هیدرولیکی سازه‌ها

محمد بی‌جن‌خان [۱] - صلاح کوچک‌زاده [۲*]

تاریخ دریافت: ۸۸/۶/۱۱
تاریخ پذیرش:۸۸/۱۰/۲۶

چکیده

اندازه‌گیری و تحویل حجمی آب از مقوله‌های اساسی در شبکه‌های انتقال و توزیع آب است. در همین راستا مدول تیغه‌ای که برای تحویل بده تقریبا ثابت در دامنه‌ای از تغییرات ارتفاع آب بالادست خود معرفی شده است ابزاری مناسب برای کاربرد در شبکه‌های فرعی می‌باشد که اصول و ضوابط طراحی آن در حال تکامل است. در این تحقیق بر اساس مفهوم حساسیت هیدرولیکی دو روش طراحی برای مدول دو تیغه‌ای ارائه شده است که روش اول از نظر تئوری سازه‌ای معرفی کرده است که بده عبوری از آن نسبت به بده طراحی ۱۳/۶۲-٪ اختلاف دارد، حال آنکه روش دوم آن نتایجی ارائه کرده است که در آن، مدول تیغه‌ای با استفاده از دو تیغه دارای عملکردی مشابه با بهترین روش طراحی متداول برای مدول سه تیغه‌ای می‌باشد که نتیجه آن صرفه‌جویی اقتصادی قابل ملاحظه و سادگی در ساخت و طراحی مدول تیغه‌ای است.

واژه‌های کلیدی: تحویل حجمی آب، ضوابط طراحی مدول تیغه‌ای, شبکه‌های فرعی, آبگیرها

مقدمه

اندازه‌گیری و تحویل حجمی آب از مسائل مهم مدیران شبکه‌های آبیاری می‌باشد. بدین منظور استفاده از آبگیرهای با هد ثابت[۳] و مدول نیرپیک[۴] در شبکه‌های آبیاری متداول می‌باشد. در ایران سازه دوم بیشتر مورد توجه است اما ضوابط طراحی سازه و نحوه ساخت آن روشن نیست به همین دلیل معمولاً احداث آن‌ها به صورت کپی برداری از نمونه‌های موجود صورت می‌گیرد. این موضوع باعث شده تا در عمل این مدول‌ها عملکرد مورد انتظار را از خود نشان ندهند. از این رو ارائه دستورالعمل طراحی و ساخت یک سازه تحویل آب برای بده‌های کم با عملکرد مطلوب ضروری به نظر می‌رسد. چنین سازه‌ای در سطح مزرعه نیز کاربری خواهد داشت. طبق بررسی‌های انجام شده در تحقیق حاضر، مدول تیغه‌ای[۵]، که به صورت تعدادی تیغه ثابت (شبیه دریچه کشویی) که قالب یک چارچوب به صورت متوالی پشت سرهم قرار می‌گیرند، سازه مناسبی برای این منظور تشخیص داده شده است (شکل ۱).

به نظر می‌رسد که مدول تیغه‌ای برای اولین بار توسط لارسن و میشرا (۶) مطرح شده است. این سازه که در (شکل ۱) ارائه شده است متشکل از سه تیغه قائم و درجا ثابت است که ارتفاع آنها به ترتیب در جهت پایین دست افزایش یافته اما میزان فاصله لبه تحتانی آن‌ها از کف سازه که بازشدگی‌شان را تشکیل می‌دهد, کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر تیغه‌هایی با ارتفاع و بازشدگی‌های معین هستند که به دنبال هم قرار می‌گیرند و انتظار می‌رود که به ازای تغییرات مشخصی از ارتفاع آب بالادست، میزان آب عبوری از آنها تغییرات شدیدی نداشته باشد.

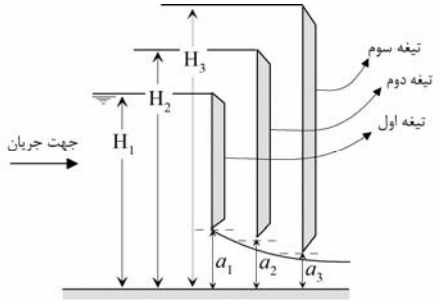
میشرا و همکاران (۸) اقدام به طراحی مدول ۳ تیغه‌ای کردند. ایشان بر خلاف واقع حساسیت دریچه را ثابت در نظر گرفته‌اند که از نقاط ضعف روش پیشنهادی ایشان محسوب می‌شود. همچنین میشرا و همکاران ارتفاع اولین تیغه را برابر کمینه ارتفاع آب طراحی مدول درنظر گرفتند. این امر با توجه به فرض ایشان مبنی بر اینکه با رسیدن ارتفاع آب به بالای هر تیغه کنترل جریان به تیغه بعد منتقل می‌شود، باعث شده تا اولین تیغه در روش طراحی میشرا و همکاران (۸) عملاً تاثیری در کنترل جریان نداشته باشد (۳). بدلیل این نارسایی، انور (۳) با بهره‌گیری از روابط ضرایب بده جریان دریچه‌ی کشویی که توسط سوامی (۱۱) ارائه شده بود، مدول ۳ تیغه‌ای را طوری طراحی کرد که ارتفاع اولین تیغه بیشتر از مقدار کمینه ارتفاع آب طراحی باشد تا به این شکل حساسیت کل سازه و میزان انحراف

---

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
(*- نویسنده مسئول: (Email: Bijankhan@ut.ac.ir

3- Constant Head Orifice
4- Neyrpic module
5- Baffle sluice gate

از بده طراحی را کاهش دهد. از نظر تئوری، ایشان موفق به انجام چنین کاری شد اما از دیدگاه نظری یک نقطه ضعف در روش طراحی انور (۳) همچنان باقی ماند که عبارت از تحویل آب، همواره به مقداری کمتر از بده طراحی به بهره‌بردار می‌باشد.



شکل ۱- شمایی از مدول تیغه‌ای و پارامترهای مربوط به ابعاد تیغه‌ها

ورما و پاسریچا (۱۷) به صورت آزمایشگاهی و با استفاده از دو تیغه به بررسی مدول تیغه‌ای پرداختند. ماهسوارا و همکاران (۷) به کمک مدل آزمایشگاهی به بررسی عملکرد و کارایی این سازه پرداختند. ایشان علاوه بر بررسی تاثیر استغراق روی عملکرد سازه، کاهش عرض و ارتفاع تیغه‌ها را از میزان توصیه شده مجاز دانست. بی‌جن‌خان (۲) اقدام به طراحی مدول ۳ تیغه‌ای با استفاده از مفهوم حساسیت هیدرولیکی نمود و با مقایسه روش‌های متفاوت طراحی مدول ۳ تیغه‌ای نشان داد که مدول طراحی شده به روش او از نظر تئوری دارای کمترین انحراف از بده طراحی است.

بنابراین عملاً ضوابط طراحی مشخصی برای مدول دو تیغه‌ای ارائه نشده است و این درحالیست که به نظر می‌رسد با استفاده از ۲ تیغه می‌توان به ویژگی‌های مدول ۳ تیغه‌ای دست یافت (۱۸). کاربری این مدول برای کانال‌های فرعی با تعداد بسیار زیاد پیشنهاد شده در نتیجه کاهش یک تیغه با حفظ عملکرد سازه، آن را اقتصادی‌تر می‌کند. لذا در این تحقیق بر اساس مفهوم حساسیت هیدرولیکی اصول طراحی مدول دو تیغه‌ای توسعه داده شده است. در این تحقیق ۲ شمای طراحی ارائه شده است که در هر دو شمای اول و دوم نقاط ضعف طراحی به روش میشرا و همکاران (۸) برطرف شده است. اما شمای دوم طوری درنظر گرفته شده که انحرافات مثبت و منفی از بده طراحی را ممکن سازد تا بر این اساس نقطه ضعف نظری روش طراحی انور (۳) نیز در طرح پیشنهادی مرتفع شود. همچنین حساسیت دریچه کشویی نیز به عنوان تابعی از ارتفاع آب پشت دریچه درنظر گرفته شد حال آنکه در روش پیشنهادی قبلی این مقدار ثابت درنظر گرفته شده بود.

مواد و روش‌ها

اساس طراحی مدول تیغه‌ای

سازه تحویل جریان باید به گونه‌ای طراحی و مستقر شود که با تغییر شرایط هیدرولیکی بالادست حتی الامکان کمترین انحراف در بده تحویلی نسبت به بده طراحی ایجاد شود. چنانچه یک دریچه‌ی کشویی قائم در نظر گرفته شود می‌توان برای بازشدگی‌های مختلف آن خانواده منحنی‌های بده–اشل را تولید نمود. حال اگر هدف طراح ارائه یک مدول تیغه‌ای باشد که شرط کمترین انحراف در بده تحویلی را تامین نماید, طراحی سازه را می‌توان به انتخاب چند منحنی بده–اشل تشبیه کرد طوریکه ترکیب یا قرارگیری این منحنی‌ها در کنار یکدیگر انحراف در بده تحویلی را نسب به بده طراحی محدود نماید. از این جهت بررسی و شناخت رفتار هیدرولیکی سازه به صورت ساده و دقیق ضرورت دارد و برای این منظور مفاهیم حساسیت هیدرولیکی به کار خواهد رفت.

حساسیت هیدرولیکی

طبق تعریف نسبت تغییرات خروجی به تغییرات ورودی یک سازه حساسیت آن را نشان می‌دهد و به صورت زیر بیان می‌شود (۱۳):

$$S_{IO} = \frac{\partial O}{\partial I} \qquad (۱)$$

که در آن S_{IO} شاخص حساسیت، O، پارامتر خروجی و I، پارامتر ورودی می‌باشد.

همچنین شاخص حساسیت نسبی به ترتیب مطابق با (رابطه ۲) می‌باشد:

$$S_{IOr} = \frac{\partial O / O}{\partial I / I} \qquad (۲)$$

رابطه یاد شده از دیدگاه نظری حساسیت یک نقطه مشخص از عملکرد سازه را ارائه می‌دهد. این موضوع در کاربرد میدانی رابطه محدودیت ایجاد می‌کند از این رو حساسیت هیدولیکی معادل[1] نسبی به صورت زیر تعریف شده است (۱۶):

$$\bar{S}_{IOr} = \frac{\int_{O^{(1)}}^{O^{(2)}} \partial O / O}{\int_{I^{(1)}}^{I^{(2)}} \partial I / I} = \frac{\ln(O^{(2)}) - \ln(O^{(1)})}{\ln(I^{(2)}) - \ln(I^{(1)})} \qquad (۳)$$

بالانویس‌های (۱) و (۲) مربوط به مقادیر ابتدایی و انتهایی پارامتر مورد نظر می‌باشد.

امتیاز (رابطه ۳)، در این است که برای داده‌های آزمایشگاهی و میدانی که گسسته و معمولاً محدود است قابل استفاده می‌باشد. به عبارت دیگر مقادیر متوسطی از شاخص‌های حساسیت سازه، که حساسیت معادل نامیده می‌شود تنها با استفاده از دو نقطه قابل محاسبه است و می‌توان آن را به عنوان نشانگری از متوسط رفتار هیدرولیکی یک سازه تلقی نمود مشروط به آنکه تغییرات بین دو نقطه

1- Equivalent Hydraulic Sensitivity

به کار رفته شدید نباشد.

حساسیت نسبی دریچه‌ی کشویی

از آنجایی که تیغه‌های مدول تیغه‌ای همانند دریچه کشویی با ارتفاع و بازشدگی ثابت می‌باشند، بنابراین پیش از پرداختن به روابط مورد نیاز برای طراحی مدول تیغه‌ای لازم است که حساسیت دریچه‌ی کشویی مورد بررسی قرار گیرد. سوامی (۱۱) ضریب بده دریچه‌ی کشویی را تابعی از ارتفاع آب و بازشدگی دریچه ارائه کرده است, پس به نظر می‌رسد که در نظر گرفتن حساسیت نسبی ثابت ۰/۵ که بر اساس روابط نظری و ثابت گرفتن ضریب بده دریچه‌ی کشویی به دست می‌آید, مورد سوال است. لذا در این تحقیق تلاش می‌شود تا حساسیت هیدرولیکی نسبی دریچه‌ی کشویی با درنظر گرفتن ضریب بده به عنوان تابعی از ارتفاع آب، مورد بررسی قرار گیرد. رابطه عمومی برآورد بده عبوری از دریچه‌ی کشویی به صورت زیر می‌باشد (۴):

$$q = C_d a\sqrt{2gH} \qquad (۴)$$

که در آن q (L^2T^{-1})، بده واحد عرض،C_d، ضریب بده، a (L)، میزان بازشدگی دریچه، g (LT^2)، شتاب گرانش زمین و H (L)، ارتفاع آب پشت دریچه‌ی کشویی می‌باشد. با ثابت درنظر گرفتن ضریب بده دریچه کشویی حساسیت نسبی آن برابر ۰/۵ خواهد شد.

انور (۳) روش طراحی خود را بر مبنای ضریب بده سوامی (۱۱) برای دریچه کشویی بسط داد و در این تحقیق نیز از رابطه ارائه شده توسط سوامی که به صورت زیر است استفاده می‌شود:

$$C_d = 0.611\left(\frac{H-a}{H+15a}\right)^{0.072} \qquad (۵)$$

با جاگذاری (رابطه ۵) در (معادله ۴), بده عبوری از دریچه بوسیله رابطه زیر به دست می‌آید:

$$q = 2.71a\left(\frac{H-a}{H+15a}\right)^{0.072}\sqrt{H} \qquad (۶)$$

حساسیت نسبی دریچه‌ی کشویی با توجه به (معادله ۶) که نشان دهنده رابطه بده با ارتفاع بالادست دریچه می‌باشد به صورت زیر در می‌آید:

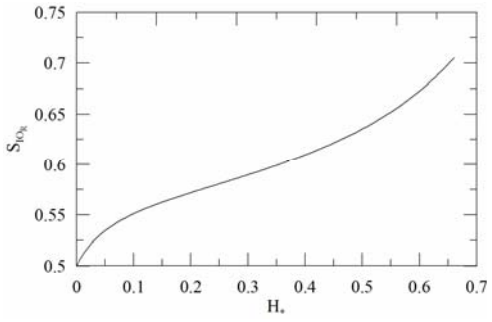
$$S_{IOr} = 0.5 + \frac{1.152aH}{(H+15a)(H-a)} \qquad (۷)$$

(رابطه ۷) نشان می‌دهد که به شرطی حساسیت دریچه یاد شده برابر با ۰/۵ می‌شود که مقادیر a یا H برابر صفر باشند و یا H به سمت ∞ میل نماید که چنین شرایطی از نظر کاربردی فاقد اهمیت است. از این رو برای شرایط بهره‌برداری باید حساسیت دریچه‌ی کشویی را با ارتفاع آب و بازشدگی دریچه متغیر دانست.

با جایگزینی $H_*=a/H$ (رابطه ۷) به صورت زیر در می‌آید:

$$S_{IOr} = 0.5 + \frac{1.152H_*}{(1+15H_*)(1-H_*)} \qquad (۸)$$

با در نظر گرفتن حداقل ارتفاع آب بالادست دریچه به میزان H=1.5a (۴) و ثابت درنظر گرفتن ضریب بده، حداکثر خطای ۲۹/۰۹ درصد در تخمین حساسیت نسبی دریچه‌ی کشویی در صورت ثابت در نظر گرفتن به میزان ۰/۵ وجود دارد, از این رو چنین خطایی را نمی‌توان نادیده گرفت. روند تغییرات حساسیت نسبی در مقابل H_* محاسبه و در (شکل ۲) ترسیم شده است. لذا از آنجایی که حساسیت نسبی نقطه‌ای دریچه‌ی کشویی با تغییرات هد بی‌بعد متغییر است چنین نتیجه‌گیری می‌شود که حساسیت نسبی معادل نیز تابعی از تغییرات هد بی‌بعد می‌باشد.



شکل ۲- H_* در مقابل حساسیت نسبی دریچه‌ی کشویی

کاربرد مفهوم حساسیت هیدرولیکی در تدوین اصول طراحی مدول دو تیغه‌ای

برای طراحی مدول تیغه‌ای از مفهوم حساسیت نسبی معادل استفاده می‌شود. بمنظور تعیین ابعاد مدول تیغه‌ای فرض می‌شود که با رسیدن ارتفاع آب به بالای هر تیغه کنترل جریان به تیغه بعد منتقل می‌شود (۳ و ۸). همانطور که قبلاً اشاره شد برای محاسبه حساسیت نسبی معادل تیغه‌ی قائم نسبت به تغییرات سطح آب نیاز به ۲ نقطه روی منحنی بده-اشل می‌باشد. در این بخش ابتدا به معرفی دو شمای متفاوت از طراحی سازه پرداخته می‌شود و سپس به کمک حساسیت نسبی معادل، ابعاد سازه بازای بده طراحی مورد نظر محاسبه می‌شود. در هر یک از این شماها ارتفاع آب تحت تاثیر هر یک از تیغه‌ها به صورت مجزا درنظر گرفته می‌شود و سپس با استفاده از مفهوم حساسیت معادل و با توجه به محدوده کارکرد هر یک از تیغه‌ها به بررسی رفتار مدول تیغه‌ای پرداخته می‌شود.

دامنه تغییرات ارتفاع آب در بالادست مدول تیغه‌ای یعنی مقادیر H_{min} و H_{max} توسط لارسن و میشرا (۶) پیشنهاد شده و توسط محققین دیگر نیز پذیرفته شده است. از این رو در این پژوهش هم مقادیر پیشنهادی لارسن و میشرا (۶) که برابر با $H_{min}=15$ cm و $H_{max}=25$ cm است بکار رفته است.

شمای اول

در این شما با در نظر گرفتن m_1–٪ انحراف نسبت به بده طراحی, q_d, ابعاد اولین تیغه به شکلی در نظر گرفته می‌شود که وقتی ارتفاع آب بالادست آن به اندازه H_{min} می‌باشد بده‌ای برابر (m_1–۱)٪ بده طراحی از سازه عبور کند و با رسیدن ارتفاع آب به H_1، بده عبوری به بده طراحی برسد (شکل ۳). سپس با فرض اینکه کنترل جریان کاملاً به تیغه دوم منتقل شده است بازای ارتفاع H_1 بده برابر (۱–m_1)٪ بده طراحی در نظر گرفته می‌شود و با رسیدن ارتفاع آب به H_{max}، مجدداً بده طراحی حاصل گردد.

شمای دوم

در مدولی که بر اساس شمای اول طراحی شده است از دیدگاه نظری برای دامنه تغییرات H مورد نظر همواره بده‌ای کمتر از بده طراحی به بهره‌بردار تحویل داده می‌شود. برای رفع این نقیصه, طراحی براساس شمای دوم پیشنهاد شده است. در شمای دوم محدوده بده و ارتفاع تحت تاثیر تیغه اول همانند شمای اول درنظر گرفته می‌شود. اما برای تیغه دوم به ازای $H=H_{max}$ بده تحویلی (۱+m_2)٪ بیشتر از بده طراحی در نظر گرفته می‌شود. یعنی از آنجا که با رسیدن آب به بالای تیغه انتهایی, یا $H=H_{max}$, جریان سرریز-روزنه وجود ندارد، منظور نمودن افزایش یاد شده مستدل می‌باشد. حال با توجه به دو شمای معرفی شده به طراحی مدول تیغه‌ای پرداخته می‌شود.

طراحی به روش شمای اول

دامنه نظری تغییرات حساسیت تیغه‌ی قائم همانند یک دریچه کشویی بین مقادیر ۰/۵ تا تقریباً ۰/۷ می باشد. از این رو برای بدست آوردن یک تقریب اولیه از ابعاد تیغه‌ها حساسیت آن‌ها را می توان برابر ۰/۵ درنظر گرفت، یعنی:

$$\bar{S}_1 = \bar{S}_2 = 0.5 \qquad (۹)$$

سپس با توجه به (رابطه ۳) و (شکل ۳)، (معادلات ۹) به صورت زیر در می آید:

$$\frac{\ln((1-m_1)q_d/q_d)}{\ln(H_{min}/H_1)} = \frac{\ln((1-m_1)q_d/q_d)}{\ln(H_1/H_{max})} = 0.5 \qquad (۱۰)$$

(روابط ۱۰) شامل دو معادله و دو مجهول است که با حل همزمان این معادلات H_1 و m_1 بترتیب بوسیله (معادلات ۱۱ و ۱۲) قابل محاسبه می‌باشند.

$$H_1 = \sqrt{H_{min} H_{max}} \qquad (۱۱)$$

$$m_1 = 1 - \left(\frac{H_{min}}{H_{max}}\right)^{0.25} \qquad (۱۲)$$

پس از برآورد ارتفاع تقریبی تیغه‌ها می توان با استفاده از (رابطه ۶) به محاسبه بازشدگی تقریبی تیغه‌ها پرداخت. اما از آنجایی که روابط فوق با فرض تساوی حساسیت تیغه ها (رابطه ۹) بدست آمده‌اند باید بر اساس حساسیت‌های جدید تعدیل شوند.

اصلاح حساسیت‌ها

مراحل اصلاح نتایج که شامل مقدار حساسیت تیغه‌ها، ارتفاع و بازشدگی تیغه‌ها و میزان انحراف از بده طراحی است با تعیین حساسیت جدید شروع می شود. سپس با معلوم شدن حساسیت های جدید، ارتفاع تیغه‌ها، میزان انحراف از بده طراحی و بازشدگی تیغه ها اصلاح می شوند.

با جاگذاری (رابطه ۶) در (رابطه ۳) و پس از ساده‌سازی، حساسیت اصلاح شده تیغه‌ها به صورت زیر در می‌آید:

$$\bar{S}_{i(new)} = 0.5 + \frac{0.072\left[\ln\left(\frac{H_{LL}-a_i}{H_{LL}+15a_i}\right) - \ln\left(\frac{H_{UL}-a_i}{H_{UL}+15a_i}\right)\right]}{\ln\left(\frac{H_{LL}}{H_{UL}}\right)} \quad ,i=1,2 \qquad (۱۳)$$

اندیس‌های LL و UL مربوط به مقادیر ابتدایی و انتهایی پارامتر مورد نظر است که این مقادیر برای هر یک از تیغه‌ها مطابق با شمای آن قبلاً تعریف شده است (شکل ۳). همچنین اندیس i نشان دهنده شماره تیغه می‌باشد.

اصلاح ارتفاع تیغه‌ها

فرض بر این است که چنانچه در دو مرحله متوالی حساسیت تیغه‌ها با دقت قابل قبولی مساوی شوند مقدار مطلوب ارتفاع تیغه‌ها و درصد انحراف از بده طراحی بدست می‌آید بنابراین از شرط $\bar{S}_{(new)}/\bar{S}=1$ برای تعیین این پارامترها می توان استفاده کرد. لذا در حالت حدی داریم:

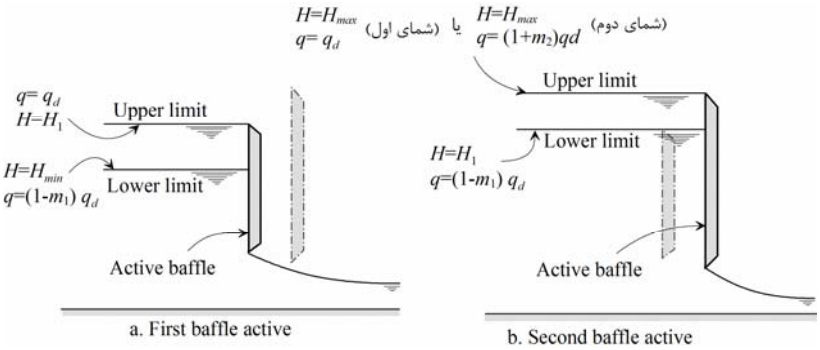
$$\frac{\bar{S}_{1(new)}}{\bar{S}_1} = \frac{\bar{S}_{2(new)}}{\bar{S}_2} = 1 \qquad (۱۴)$$

(رابطه ۱۴) دارای دو مجهول است که شامل ارتفاع تیغه اول و میزان انحراف از بده طراحی می‌باشد. پارامترهای که به این ترتیب به کمک (رابطه ۱۴) به دست می‌آیند اصلاح شده مقادیری هستند که با در نظر گرفتن حساسیت نسبی ثابت برای تیغه‌ها حاصل شده بودند. با جایگذاری پارامترهای حساسیت بر مبنای (رابطه ۳) در (رابطه ۱۴) و با توجه به دامنه تحت تاثیر هر تیغه و پس از خلاصه سازی نتایج معادلات زیر به دست می‌آید:

$$\bar{S}_{1(new)}\ln(H_{min}/H_{1(new)}) = \bar{S}_{2(new)}\ln(H_{1(new)}/H_{max}) = 1 \qquad (۱۵)$$

با حل (رابطه ۱۵) ارتفاع تیغه اول بوسیله (معادله ۱۶) اصلاح می‌شود.

$$H_{1(new)} = H_{max}^{\eta} H_{min}^{1-\eta} \qquad (۱۶)$$



شکل ۳- نمایی از مدول دو تیغه‌ای به همراه محدوده بده و ارتفاع تحت تاثیر هر تیغه در شمای اول و دوم

که در آن η به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$\eta = \frac{1/\bar{S}_{1(new)}}{1/\bar{S}_{1(new)} + 1/\bar{S}_{2(new)}}$$

ملاحظه می‌شود که با ثابت درنظر گرفتن حساسیت تیغه‌ها η برابر ۰/۵ شده و در نتیجه (معادله ۱۶) به (رابطه ۱۱) تبدیل می‌شود. به عبارت دیگر توان (رابطه ۱۱) که بدلیل ثابت درنظر گرفتن حساسیت تیغه‌ها مقادیر تقریبی بوده به این ترتیب قابل اصلاح می‌باشد.

اصلاح انحراف از بده طراحی

با توجه به (معادله۱۴) و درنظر گرفتن حساسیت تیغه‌ها مطابق با (معادله ۱۳) رابطه انحراف از بده طراحی اصلاح شده به صورت زیر درمی‌آید:

$$m_{1(new)} = 1 - \left(\frac{H_{min}}{H_{max}}\right)^{(1/(1/\bar{S}_{1(new)} + 1/\bar{S}_{2(new)}))} \qquad (۱۷)$$

اصلاح میزان بازشدگی‌ها

پس از محاسبه ارتفاع جدید تیغه اول با استفاده از (روابط ۱۶)، با جاگذاری آن در (رابطه ۶) بازشدگی جدید تیغه اول محاسبه می‌شود. بازشدگی تیغه دوم نیز با استفاده از (رابطه ۶) و با درنظر گرفتن ارتفاع آب بالادست تیغه به میزان H_{max} محاسبه می‌شود.

کلیه مراحل یاد شده که عبارت از اصلاح حساسیت تیغه‌ها، ارتفاع تیغه‌ها، میزان انحراف از بده طراحی و بازشدگی تیغه‌ها است باید تا جایی که برای هر دو تیغه $\bar{S}_{i(new)} / \bar{S}_i \approx 1$ شود, ادامه پیدا کند.

در این شمای طراحی با توجه به (رابطه ۱۷)، مقدار انحراف از بده طراحی در دامنه ۱۵٪<m_1<۱۲٪ قرار می‌گیرد. بر این اساس برای H_{min}=15cm, و H_{max}=25cm که توسط محققین قبلی توصیه شده و به کار رفته است, H_1 و بازشدگی‌های a_i برای تحویل بده‌های ۲ تا ۷ لیتر بر ثانیه به کمک شمای یاد شده محاسبه شده‌اند که بر این اساس H_1 برابر ۱۹/۴ سانتیمتر به دست آمد و نتایج تغییرات بازشدگی‌ها در برابر بده در (جدول ۱) ارائه شده است.

جدول ۱- ابعاد مدول دو تیغه‌ای با استفاده از روش طراحی حساسیت معادل در شمای اول

Q (l/s/cm)	a_1 (cm)	a_2 (cm)
۰/۲	۱/۹	۱/۵
۰/۲۵	۲/۳	۲/۰
۰/۳	۲/۸	۲/۴
۰/۳۵	۳/۳	۲/۸
۰/۴	۳/۸	۳/۲
۰/۴۵	۴/۳	۳/۷
۰/۵	۴/۸	۴/۱
۰/۵۵	۵/۳	۴/۵
۰/۶	۵/۸	۵/۰
۰/۶۵	۶/۴	۵/۴
۰/۷	۶/۹	۵/۹

طراحی به روش شمای دوم

در اینجا نیز برای بدست آوردن یک تقریب اولیه از ابعاد تیغه‌ها حساسیت آن‌ها برابر ۰/۵ درنظر گرفته می‌شود. لذا داریم:

$$\bar{S}_1 = \bar{S}_2 = 0.5 \qquad (۱۸)$$

با توجه به (رابطه ۳)، (معادلات ۱۸) به صورت زیر در می آید:

$$\frac{\ln((1-m_2)q_d/q_d)}{\ln(H_{min}/H_1)} = \frac{\ln((1-m_2)q_d/(1+m_2)q_d)}{\ln(H_1/H_{max})} = 0.5 \qquad (۱۹)$$

(رابطه ۱۹) دارای دو معادله و دو مجهول است که با حل همزمان این معادلات و ساده‌سازی آنها، H_1 و m_2 بترتیب بوسیله (معادلات ۲۰ و ۲۱) قابل محاسبه می‌باشند.

$$H_1 = H_{min}^{\frac{1+c}{2+c}} H_{max}^{\frac{1}{2+c}} \qquad (۲۰)$$

$$m_2 = 1 - \left(\frac{H_{min}}{H_{max}}\right)^{1/4+2c} \quad (۲۱)$$

در روابط فوق $c = -\ln(1+m_2)/\ln(1-m_2)$ است.

برای تعیین مقادیر اولیه، H_1، c و در نتیجه m_2 باید معلوم باشد. با توجه به مقادیر H_{min}=15cm و H_{max}=25cm (معادله ۲۱) به کمک روش تکرار حل شده که نتیجه آن m_2=0.138 بدست آمده است. این مقدار انحراف از بده طراحی به عنوان مقدار تقریبی برای تعیین ارتفاع تیغه اول و بازشدگی تیغه‌ها که به ترتیب با استفاده از (معادلات ۲۰ و ۶) به دست می‌آیند, به کار خواهد رفت.

اما از آنجایی که روابط فوق با فرض تساوی حساسیت تیغه ها (رابطه۹۰) بدست آمده‌اند باید تعدیل شوند. (روابط ۲۰ و ۲۱)، با فرض تقریبی (رابطه ۱۸) بدست آمده‌اند و در این شما نیز قابل تعدیل هستند.

با فرض اولیه m_2، برابر ۱۳/۸٪ و به کمک (رابطه ۲۱)، H_1 تقریبی محاسبه می‌شود. سپس با استفاده از (رابطه ۶) بازشدگی تقریبی تیغه‌های اول و دوم و به وسیله (رابطه ۲۲) بازشدگی تقریبی تیغه دوم محاسبه می‌شود و پس از آن نتایج تعدیل می‌شوند.

$$q_d = \frac{2.71}{1+m_2} a_3 \left(\frac{H_{max}-a_3}{H_{max}+15a_3}\right)^{0.072} \sqrt{H_{max}} \quad (۲۲)$$

تعدیل حساسیت‌ها و میزان انحراف از بده طراحی (رابطه ۱۳) برای تعدیل حساسیت‌ها به کار می‌رود. همچنین به منظور تعدیل میزان انحراف از بده طراحی مشابه شمای اول زمانی که $\overline{S}_{(new)}/\overline{S}=1$ شود نتایج مورد نظر تحصیل شده است لذا در حالت حدی داریم:

$$\frac{\overline{S}_{1(new)}}{\overline{S}_1} = \frac{\overline{S}_{2(new)}}{\overline{S}_2} = 1 \quad (۲۳)$$

با توجه به (رابطه ۲۳) در حالت حدی بدست می‌آوریم:

$$\frac{\ln(1-m_{2(new)})}{\overline{S}_{1(new)}\ln(H_{min}/H_{1(new)})} = \frac{\ln(1-m_{2(new)})}{\overline{S}_{2(new)}\ln(H_{1(new)}/H_{max})} = 1 \quad (۲۴)$$

(روابط ۲۴) دارای دو معادله و دو مجهول، که شامل ارتفاع تیغه اول و میزان انحراف از بده طراحی جدید است، می‌باشد. با حل دستگاه معادلات فوق H_1 و m_2 تصحیح شده حاصل می‌شود. لذا با توجه به (رابطه ۲۴)، مقدار $m_{2(new)}$، به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$m_{2(new)} = 1 - \left(\frac{H_{min}}{H_{max}}\right)^{(1/(1/\overline{S}_{1(new)}+(1+c_{new})/\overline{S}_{2(new)}))} \quad (۲۵)$$

باید توجه شود که (رابطه ۲۵) نسبت به $m_{2(new)}$ صریح نیست اما شکل رابطه به گونه‌ای تنظیم شده است که با یکی از روش‌های تکراری نظیر روش نقطه ثابت[1] جواب مطلوب به راحتی حاصل می‌شود.

تعدیل ارتفاع تیغه‌ها

پس از محاسبه میزان انحراف از بده طراحی, مجهول دیگر (رابطه ۲۴) یعنی ارتفاع اصلاح شده تیغه اول مطابق با (روابط ۲۶) به صورت زیر قابل محاسبه است.

$$H_{1(new)} = H_{max}^{\mu} H_{min}^{1-\mu} \quad (۲۶)$$

که در روابط فوق μ به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mu = \frac{1/\overline{S}_1^{n+1}}{1/\overline{S}_1^{n+1} + (1+c^{n+1})/\overline{S}_2^{n+1}}$$

پس از محاسبه ارتفاع اصلاح شده و جاگذاری آن در (رابطه ۶)، بازشدگی جدید تیغه اول تعیین می‌شود. بازشدگی تیغه دوم نیز با استفاده از (معادله ۲۲) بدست می‌آید. این روند تا حصول شرط $\overline{S}_{(new)}/\overline{S} \approx 1$ با دقت مورد نظر، برای هر دو تیغه ادامه می‌یابد. ابعاد محاسبه شده برای مدول تیغه‌ای با استفاده از شمای دوم برای دامنه بده ۲ تا ۷ لیتر بر ثانیه محاسبه است. برای همان مقادیر H_{max} و H_{min} ارتفاع تیغه‌ها اول و دوم به ترتیب برابر H_1=17.8cm و H_2=25cm و مقادیر بازشدگی متناظر با بده در (جدول ۲) قید شده است. دامنه انحراف از بده طراحی بر اساس روش طراحی پیشنهادی شمای دوم بر اساس (رابطه ۲۵)، برابر ۱۰/۶٪>m_2>۸/۴٪ می‌باشد.

(معادله ۲۱) نشان می‌دهند که ارتفاع تیغه اول تابعی از میزان انحراف بده تحویلی از بده طراحی می‌باشد. بسیار جالب توجه است که بدانیم میل دادن m_2 به سمت صفر و حد گرفتن از معادلات یاد شده برای این شرط و ساده‌سازی روابط, (معادله ۲۷) به دست می‌آید:

جدول ۲- ابعاد مدول دو تیغه‌ای با استفاده از روش طراحی حساسیت معادل با شمای دوم

Q (l/s/cm)	a_1 (cm)	a_2 (cm)
۰/۲	۱/۹	۱/۷
۰/۲۵	۲/۳	۲/۲
۰/۳	۲/۹	۲/۶
۰/۳۵	۳/۴	۳/۱
۰/۴	۴/۰	۳/۵
۰/۴۵	۴/۵	۴/۰
۰/۵	۵/۰	۴/۵
۰/۵۵	۵/۶	۵/۰
۰/۶	۶/۲	۵/۵
۰/۶۵	۶/۷	۶/۰
۰/۷	۷/۳	۶/۵

1- Fixed point method

$$H_1 = \sqrt[3]{H_{min}{}^2 H_{max}} \quad (۲۷)$$

حل (معادله ۲۷) ارتفاع تیغه اول را به طور صریح برابر ۱۷/۸ سانتی‌متر تعیین می‌کند و به این ترتیب نیاز به روش تکرار را در این بخش از طراحی و برای دامنه بده مورد بررسی مرتفع می‌کند. اما به هر دلیل در صورت نیاز به دقت‌های بالاتر از نتایج (معادله ۲۷) برای به دست آوردن مقادیر اولیه پارامترها استفاده کرد. در این صورت تعیین ابعاد نهایی و اتمام طراحی به بیش از دو تکرار نیاز نخواهد داشت.

مقایسه روش‌های طراحی متفاوت

رنالت و همکاران (۱۴) از اولین محققینی هستند که به لزوم تعریف حساسیت برای سازه‌های مختلف در شبکه و کاربرد وسیع آن اشاره کرده‌اند. همچنین منتظر و کوچک‌زاده (۹) و منتظر و همکاران (۱۰) اقدام به توسعه روابطی جهت برآورد و مقایسه مدول‌های نیرپیک کرده‌اند. بی‌جن‌خان (۲) به ارائه روشی جهت مقایسه طراحی‌های متفاوت مدول ۳ تیغه‌ای پرداخت. بی‌جن‌خان بر اساس مفهوم حساسیت هیدرولیکی سازه‌ها روابطی جهت محاسبه میزان انحراف از بده طراحی مدول ۳ تیغه‌ای ارائه کرد. شایان ذکر است که این روابط قابل کاربرد برای روش‌های دیگر طراحی مدول ۳ تیغه‌ای می‌باشد. در این تحقیق نیز برای محاسبه میزان انحراف از بده طراحی مدول ۲ تیغه‌ای می‌توان از (روابط ۱۷ و ۲۵) استفاده کرد که نتیجه این مقایسه‌ها در (جدول ۳) آورده شده است.

با توجه به (جدول ۳) ملاحظه می‌شود که با استفاده از تنها دو تیغه و طراحی سازه در شمای دوم، از نظر تئوری می‌توان نسبت به روش میشرا انحراف کمتری از بده طراحی را برای سازه ارائه کرد.

همچنین طراحی مدول دو تیغه‌ای در شمای دوم عملکردی مشابه با روش سه تیغه‌ای انور از خود نشان می‌دهد که البته از مزیت‌های استفاده از شمای دوم می‌توان به وجود هر دو انحراف مثبت و منفی از بده طراحی اشاره کرد حال آنکه از نظر تئوری تمام روش‌های موجود فقط انحراف منفی نسبت به بده طراحی دارند و به عبارت دیگر همواره آب کمتری به بهره‌بردار تحویل می‌دهند. با توجه به (جدول ۳) مشاهده می‌شود که مدول ۳ تیغه‌ای طراحی شده به روش بی‌جن‌خان (۲) با میانگین ۷/۰۹± درصد انحراف نسبت به بده طراحی همچنان بهترین روش طراحی است. اما انتخاب مدول دو یا سه تیغه‌ای با توجه به معیارهای اقتصادی و بهره‌برداری می‌تواند صورت گیرد.

به منظور نمایش بهتر روش‌های موجود برای طراحی مدول تیغه‌ای منحنی بده–اشل این روش‌ها برای بده طراحی ۲ لیتر بر ثانیه در (شکل ۴) رسم شده است. برای مثال برای رسم منحنی بده–اشل شمای دوم طراحی ارائه شده در این تحقیق به این ترتیب عمل شده که با استفاده از (رابطه ۶) و با درنظر گرفتن تغییرات ارتفاع آب پشت تیغه اول از ۱۵ تا ۱۷/۸ سانتی‌متر و بازشدگی این تیغه به اندازه ۱/۹ سانتی‌متر (مطابق با جدول ۲) قسمت اول منحنی بده–اشل رسم گردید. با رسیدن به ارتفاع ۱۷/۸ سانتی‌متر و با فرض اینکه به محض رسیدن آب به بالای هر تیغه کنترل جریان به تیغه دوم منتقل می‌شود، منحنی بده–اشل تیغه دوم نیز با استفاده از (رابطه ۶) و در نظر گرفتن ۱۷/۸≤H≤۲۵ سانتی‌متر و بازشدگی این تیغه معادل ۱/۷ سانتی‌متر (مطابق با جدول ۲) قسمت دوم منحنی بده–اشل نیز رسم شده است.

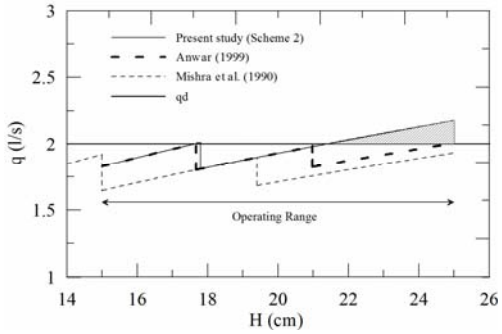
جدول ۳- مقادیر انحراف از بده طراحی (٪) برای روش‌های مختلف طراحی مدول تیغه‌ای

بده طراحی (l/s)	مدول ۳ تیغه‌ای			مدول ۲ تیغه‌ای	
	میشرا و همکاران (۸)	انور (۳)	بی‌جن‌خان (۲)	شمای اول	شمای دوم
۲	-۱۳/۰۲	-۸/۹۱	±۶/۳۰	-۱۳/۰۶	±۹/۰۴
۲/۵	-۱۳/۱۷	-۹/۰۰	±۶/۸۷	-۱۳/۱۹	±۹/۱۳
۳	-۱۳/۲۹	-۹/۰۹	±۶/۹۵	-۱۳/۳۱	±۹/۲۲
۳/۵	-۱۳/۴۱	-۹/۱۷	±۷/۰۲	-۱۳/۴۲	±۹/۳۰
۴	-۱۳/۵۱	-۹/۲۵	±۷/۰۸	-۱۳/۵۲	±۹/۳۷
۴/۵	-۱۳/۶۱	-۹/۳۲	±۷/۱۴	-۱۳/۶۲	±۹/۴۵
۵	-۱۳/۷۱	-۹/۳۹	±۷/۲۰	-۱۳/۷۲	±۹/۵۲
۵/۵	-۱۳/۸۲	-۹/۴۷	±۷/۲۶	-۱۳/۸۲	±۹/۵۹
۶	-۱۳/۹۲	-۹/۵۵	±۷/۳۲	-۱۳/۹۳	±۹/۶۶
۶/۵	-۱۴/۰۲	-۹/۶۳	±۷/۳۸	-۱۴/۰۴	±۹/۷۴
۷	-۱۴/۱۵	-۹/۷۲	±۷/۴۵	-۱۴/۱۵	±۹/۸۳
انحراف از بده طراحی (٪)	-۱۳/۶	-۹/۳۲	±۷/۰۹	-۱۳/۶۲	±۹/۴۴

منحنی بده–اشل روش‌های میشرا و همکاران (۱۹۹۰) و انور (۱۹۹۹) نیز به همین شکل رسم، و در (شکل ۴) آورده شده است (۳). شایان ذکر است که قسمت اول منحنی بده–اشل، در روش حاضر و روش طراحی انور دقیقاً بر روی یکدیگر منطبق شده است.

همانطور که مشاهده می‌شود تغییرات بده بازای تغییرات ارتفاع آب در محدوده کاربری (۱۵ تا ۲۵ سانتی‌متر) برای روش‌های انور و میشرا و همکاران همواره پایین‌تر از بده طراحی می‌باشد و همانگونه که گفته شد در این روش‌ها از نظر تئوری همواره میزان آب تحویلی به بهره‌بردار کمتر از تقاضا است. اما در شمای دوم طراحی ارائه شده در این تحقیق نه تنها با استفاده از ۲ تیغه میزان انحراف از بده طراحی مطابق با روش انور است بلکه بازای تغییرات ارتفاع آب حدوداً از ۲۱/۳ تا ۲۵ سانتی‌متر (قسمت هاشور خورده) مقدار آب تحویلی بیش از بده طراحی است و این امر باعث می‌شود تا در مجموع بازای تغییرات ارتفاع آب از ۱۵ تا ۲۵ سانتی‌متر در روش ارائه شده در این تحقیق در شمای دوم، میزان آب تحویلی، نسبت به روش‌های متداول طراحی مدول تیغه‌ای با استفاده از ۳ تیغه، به بده طراحی ۲ لیتر بر ثانیه نزدیک‌تر باشد.

همچنین با توجه به (شکل ۴) مشاهده می‌شود که در روش طراحی میشرا و همکاران با درنظر گرفتن این فرض که به محض رسیدن آب به بالای هر تیغه کنترل جریان به تیغه بعدی منتقل می‌شود، تیغه اول در محدوده کاربری مدول قرار نمی‌گیرد و عملاً تاثیری در کنترل جریان ندارد و به طور کلی این روش طراحی از نظر تئوری بیشترین انحراف را نسبت به بده طراحی دارد (۳).



شکل ٤- منحنی بده–اشل برای روش‌های طراحی میشرا و همکاران (۸)، انور (۳) و روش ارائه شده در این تحقیق (شمای دوم)

نتیجه‌گیری

در این تحقیق سازه تحویل نسبتاً ثابت بده در دامنه‌ای قابل توجه از تغییرات ارتفاع آب بالادست معرفی شده و دو شیوه طراحی جدید پیشنهاد شده است. شیوه‌های طراحی جدید بر پایه شاخص حساسیت هیدرولیکی بنا نهاده شده است. شیوه دوم طراحی مدول دو تیغه‌ای که تحت عنوان شمای دوم معرفی شد در مقایسه با روش‌های موجود طراحی مدول تیغه‌ای که عمدتاً با سه تیغه است، انحراف کمتری در بده نسبت به بده طراحی را در مقایسه با روش میشرا و همکاران (۸) نشان داد. مدول ۲ تیغه‌ای طراحی شده در شمای دوم از نظر تئوری عملکردی مشابه با روش انور (۳) دارد. همچنین نشان داده شد که از نظر تئوری در روش جدید طراحی بر خلاف روش‌های دیگر که همواره بده‌ای کمتر از میزان طراحی تحویل می‌دهند، هر دو انحراف مثبت و منفی نسبت به بده طراحی وجود دارد. به طور کلی با توجه به ملاحظات اقتصادی و عملکرد مطلوب مدول ۲ تیغه‌ای استفاده از این مدول پس از بررسی‌های آزمایشگاهی می‌تواند قابل توصیه باشد.

تشکر و قدردانی

از دانشگاه تهران که فضا و امکانات تحقیق برای محققین فراهم نموده است و از حمایت‌های قطب علمی "ارزیابی و بهسازی شبکه‌های آبیاری و زهکشی" که انجام تحقیق را میسر کرد, صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

۱- امیری ا. و سیاهی م. ک . ۱۳۸۷. طراحی کانال‌های آبیاری و سازه‌های وابسته, انتشارات دانشگاه تهران شماره ۲۹۱۴.

۲- بی‌جن‌خان م. ۱۳۸۸. بررسی هیدرولیکی مدول تیغه‌ای. پایانامه دوره کارشناسی ارشد. گروه آبیاری و آبادانی. دانشگاه تهران.

3- Anwar A. A. 1999. Baffle sluice module with improved performance. J. Irrig. Drain. Eng. 125: 91-95.

4- Bos M. G. 1989. Discharge measurement structures. International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI). Publication No. 20. Wageningen. The Netherlands.
5- Henry H. R. 1950. Diffusion of submerged jets. By Albertson, M. L., Dai, Y. B., Jensen, R. A. and Rouse, H. Trans 115: 687-694.
6- Larsen A. P. and Mishra P. K. 1990. Constant discharge device for field irrigation. J. Hydr. Res. Delft, The Netherlands. 28: 481-489.
7- Maheswara Babu B., Mishra P. K. and Satyanarayana T. 1996. Performance of baffle-sluice module with change module dimensions. J. Irrig. Drain. Eng. 122: 310-313.
8- Mishra P. K., Larsen A. P. and Satyanarayana T. 1990. Development of Low-Discharge Baffle-Sluice Module. J. Irrig. Drain. Eng. 116: 444-453.
9- Montazar A., and Kouchakzadeh S. 2006. Hydraulic sensitivity of baffled modules distributors. Journal of applied irrigation science, Germany.
10- Montazar A., Kouchakzadeh S. and Omid MH. 2005. Hydraulic sensitivity of baffled modules distributors. Proceeding of XXXI IAHR Congress, Seoul, Korea.
11- Swamee P. K. 1992. Sluice gate discharge equations. J. Irrig. Drain. Eng. 118: 56-60.
12- Rajaratnam N. and Subramanya K. 1967. Flow equation for sluice gate. J. Irrig. Drain. Eng. 3: 167-187.
13- Renault D. 2000b. Aggregated Sensitivity Indicators of Irrigation Systems Hydraulic Behavior. Agric. Water Mgmt. 43: 151-171.
14- Renault D. Khan, A. H. Hemakumara M. H. and Memon M. A. 2001. Assessing sensitivity factors of irrigation delivery structures. J. Irrig. Drain. Eng. 127: 346-354.
15- Renault D., and Hemakumara H. M. 1999. Irrigation Offtakes Sensitivity. J. Irrig. Drain. Eng. 125: 131-136.
16- Vatankhah A., Kouchakzadeh S. and Hoorfar A. 2008. Developing Effective Sensitivity Indicator for Irrigation Network Components International Journal of Applied Agricultural Research. 3: 17-36.
17- Verma D. V. S. and Pasricha A. 1994. Hydraulic characteristics of baffle modules. J. Inst. Engrs. 75: 155-158.
18- Verma D. V. S. 1997. Discussion of 'Performance of baffle-sluice modules with changed module dimensions, by B. Maheswara Babu., P. K. Mishra, and T. Satyanarayana. J. Irrig. Drain. Eng, 123: 463.

Journal of Water and Soil
Vol. 24, No. 5, Nov-Des 2010, p. 864-873

نشریه آب و خاک
جلد ۲۴، شماره ۵، آذر - دی ۱۳۸۹، ص. ۸۷۳-۸۶۴

Design of 2 baffles module Based on Hydraulic Sensitivity Concept of Structures

M. Bijankhan [1] * - S.Kouchakzadeh[2]

Received:
Accepted:

Abstract

Accurate water measurement and delivery are basic issues in irrigation networks management and performance. In this regard, baffle modules have been considered as appropriate means for delivering almost constant discharge within a specific range of upstream water variation. The structure is meant for low discharge delivery and could be employed in farm irrigation. However, the design criteria still requires further improvements. In this paper, the hydraulic sensitivity concept was used to provide two design methods for a 2 baffles module. The results of the first method presented a structure with -13.62% deviation of design discharge. While the second method resulted in a design criteria for baffle sluice module with only 2 baffles which its performance is similar to a 3 baffles one.

Keywords: Baffle modules, Hydraulic sensitivity, Intake, Water measurement structure, Performance improvement

1,2- Msc Student and Professor, Irrigation and Reclamation Engineering Dept., College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, respectively
(*-Corresponding author Email: Bijankhan@ut.ac.ir)